



## Адаптивный потенциал образцов овса по химическим и физическим характеристикам зерна

В. И. Полонский<sup>1,4</sup>, С. А. Герасимов<sup>2</sup>, А. В. Сумина<sup>1,3</sup>, С. А. Зюте<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, обособленное подразделение Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Красноярск, Россия

<sup>3</sup> Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова, Абакан, Россия

<sup>4</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

<sup>5</sup> Стендский научный центр, Институт агроресурсов и экономики, Дизстенде, Латвия

**Автор, ответственный за переписку:** Сергей Александрович Герасимов, g-s-a2009@yandex.ru

Одна из важных задач растениеводства состоит в получении стабильно высоких урожаев с повышенным содержанием в них ценных веществ. Целью исследования является оценка адаптивности образцов овса по содержанию  $\beta$ -глюканов и масла в зерне, натуре зерна, крупности зерна и анализ связи между показателями адаптивности образцов по этим признакам.

Исследовали 18 образцов овса из коллекции ВИР, которые были выращены в течение трех лет в Восточной Сибири. В зерне определяли содержание  $\beta$ -глюканов и масла, массу 1000 зерен и натуру зерна. Вычисляли четыре показателя адаптивности образцов по указанным признакам.

Установлено, что между пленчатой и голозерной формами овса параметры пластичности (CV и d) и стабильности (Ном и ПУСС) образцов, определенные по уровню  $\beta$ -глюканов и содержанию масла в зерне, массе 1000 зерен и натуре зерна, существенно не различались. Наилучшей адаптивностью по содержанию  $\beta$ -глюканов в зерне отличались сорта 'Сапсан' (к-15444) и 'Алдан' (к-15115), по содержанию масла – 'Саян' (к-14043) и 'Вятский' (к-14960), по массе 1000 зерен – 'Корифей' (к-15113) и 'Тайдон' (к-15183), по натуре зерна – 'Корифей' и 'Тоша' (к-15120). Для голозерных образцов овса выявлены значимые связи между показателями адаптивности по содержанию  $\beta$ -глюканов или масла в зерне и таковыми по натуре зерна, а также найдены существенные связи между средними величинами массы 1000 зерен образцов и параметрами их пластичности (отрицательные корреляции) либо показателями их стабильности (положительные корреляции) по данному физическому признаку.

Существует высокий риск получения пленчатого овса с пониженным уровнем масла в зерне при его селекции на высокую стабильность по этому признаку. Предполагается, что успешная селекция овса на повышенную адаптивность по массе 1000 зерен будет сопровождаться ростом крупности зерна. Показана возможность косвенной оценки адаптивности голозерных образцов овса по содержанию  $\beta$ -глюканов или масла в зерне на основе вычисления их адаптивности по натуре зерна.

**Ключевые слова:** *Avena sativa* L., пленчатый; голозерный, оценка,  $\beta$ -глюканы, масло, масса 1000 зерен, натура зерна

**Благодарности:** работа выполнена в рамках Государственного задания согласно тематическому плану по проекту № FWES-2021-0039 «Изучение, подбор генетического материала для создания новых адаптивных сортов и разработка технологий первичного и промышленного семеноводства новых сортов зерновых культур».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Полонский В.И., Герасимов С.А., Сумина А.В., Зюте С.А.

Адаптивный потенциал образцов овса по химическим и физическим характеристикам зерна. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(1):57-75. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-57-75

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-57-75

## Adaptive potential of oat accessions in the context of their chemical and physical grain characteristics

Vadim I. Polonskiy<sup>1,4</sup>, Sergey A. Gerasimov<sup>2</sup>, Alena V. Sumina<sup>1,3</sup>, Sanita A. Zute<sup>5</sup><sup>1</sup> Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia<sup>2</sup> Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, affiliated to Krasnoyarsk Science Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia<sup>3</sup> N.F. Katanov Khakass State University, Abakan, Russia<sup>4</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia<sup>5</sup> Stende Research Centre, Institute of Agricultural Resources and Economics, Dizstende, Latvia**Corresponding author:** Sergey A. Gerasimov, g-s-a2009@yandex.ru

Providing high and stable grain harvests with high content of valuable compounds in grain is an important task of crop production. The aim of the study was to assess the adaptability of oat accessions through the analysis of their chemical and physical properties and disclose relationships among adaptability indicators based on these characteristics.

Eighteen oat accessions from the VIR collection, grown for 3 years in Eastern Siberia, were assessed. The content of  $\beta$ -glucans and oil, 1000 grain weight, and test weight were analyzed. Four adaptability indicators were measured for the aforesaid characters.

Plasticity and stability parameters of the accessions showed no significant differences between the naked and hulled oat forms. Cvs. 'Sapsan' (k-15444) and 'Aldan' (k-15115) demonstrated the best adaptability in the content of  $\beta$ -glucans in grain, 'Sayan' (k-14043) and 'Vyatsky' (k-14960) in oil content, 'Korifey' (k-15113) and 'Taidon' (k-15183) in 1000 grain weight, and 'Korifey' and 'Gosha' (k-15120) in their test weight. Among the naked oat accessions, significant relationships were recorded between the adaptability indicators of the content of  $\beta$ -glucans or oil in grain and those of the test weight as well as between the average 1000 grain weight of the accessions and the parameters of their plasticity (negative correlations) or stability (positive correlations) for the said physical character.

There is a high risk of obtaining hulled oats with reduced levels of oil in their grain, when selected for high stability for this character. It is assumed that successful oat breeding for increased adaptability in 1000 grain weight will be accompanied by an increase in grain size. The possibility of indirect estimation of the adaptability of naked oat accessions according to their  $\beta$ -glucan or oil content is shown on the basis of calculating their adaptability according to the test weight of their grain.

**Keywords:** *Avena sativa* L., accessions, hulled, naked, assessment,  $\beta$ -glucans, oil, 1000 grain weight, test weight

**Acknowledgements:** the work was done within the framework of the State Task according to the thematic plan under Project No. FWES-2021-0039 "Studying and selection of genetic material to produce new adaptable cultivars and development of technologies for initial and industrial seed production of new cereal crop cultivars".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Polonskiy V.I., Gerasimov S.A., Sumina A.V., Zute S.A. Adaptive potential of oat accessions in the context of their chemical and physical grain characteristics. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(1):57-75. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-57-75

## Введение

Селекция зерновых культур в настоящее время ведется по двум основным комплексам хозяйственно полезных признаков: 1) величине урожайности, включающей учет отдельных элементов продуктивности, параметрам развития растений и их устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам; 2) качеству, обусловленному физическими характеристиками зерна и содержанием в нем ценных химических веществ.

В течение последних десятилетий активно развиваются подходы к вычислению различных показателей экологической изменчивости сельскохозяйственных культур. При этом в большинстве публикаций авторы используют главным образом количественные критерии адаптивности образцов зерновых культур для поиска генотипов, отличающихся незначительным варьированием форм по уровню урожайности и величине массы 1000 зерен (Goncharenko et al., 2020; Tulyakova et al., 2021). Что касается изменения по годам химического состава зерна, то в этом плане выполнены работы, демонстрирующие адаптивность образцов в основном по содержанию в зерне белка (Yusova et al., 2020a).

Как известно, многие зерновые культуры, в частности овес, содержат разнообразные ценные химические вещества, которые используются для получения функциональных продуктов здорового питания (Loskutov, Polonskiy, 2017; Shvachko et al., 2021). К ним относятся полисахариды  $\beta$ -глюканы, играющие существенную роль в профилактике ряда серьезных заболеваний человека, а также масло, имеющее в своем составе полиненасыщенные жирные кислоты (Shewgry et al., 2008). Сегодня опубликованы результаты исследований, касающиеся содержания этих ценных химических веществ в пленчатых и голозерных образцах овса, выращенных в различных климатических условиях (Polonskiy et al., 2019; Gerasimov et al., 2020; Shvachko et al., 2021). При этом информация об адаптивности конкретных сортов овса по уровню масла в зерне представлена в одной публикации (Yusova et al., 2020b), а сведений об изменчивости образцов по содержанию  $\beta$ -глюканов в зерне в литературе нам встретить не удалось. Отметим, что взаимосвязи между показателями адаптивности образцов овса по различным химическим и физическим характеристикам их зерна также практически не изучены.

Целью настоящего исследования является оценка адаптивного потенциала образцов овса по содержанию  $\beta$ -глюканов и масла в зерне, натуре зерна, крупности зерна и анализ связи между показателями адаптивности образцов по этим ценным признакам.

## Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали 18 образцов овса (13 пленчатых и 5 голозерных) из коллекции ФИЦ Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Перечень разновидностей овса и их происхождение приведены в нашей предыдущей работе (Polonskiy et al., 2019). Овес был выращен в 2015–2017 гг. на опытных полях Красноярского научно-исследовательского института сельского хозяйства (ФИЦ СО РАН), расположенных в Восточной Сибири (лесостепная зона Красноярского края). Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенным маломощным, предшественник – чистый пар. Погодные условия в годы исследования были контрастны:

ми: 2015 г. – засушливый (ГТК – 0,95); 2016 и 2017 г. – влажные (ГТК – 1,59 и 1,47 соответственно).

После уборки урожая у каждого образца определяли физические свойства зерна: массу 1000 зерен и натуру зерна, а также две его химические характеристики: содержание масла и  $\beta$ -глюканов. Последние измеряли на автоматическом зерновом анализаторе Infratec Analyzer 1241 с использованием 50-миллилитровой кюветы. Стандартная ошибка измерения на приборе составляла 0,3%. Повторность определения указанных показателей двукратная.

По каждому из перечисленных физических и химических признаков зерна вычисляли четыре параметра адаптивности образцов овса, которые были разделены на две группы, основываясь на известном методическом подходе (Volkova, Gireva, 2017). В первую группу вошли показатели экологической пластичности образцов: коэффициент экологической вариации CV (Dospekhov, 1985), показатель стрессоустойчивости d, характеризующий размах варьирования значений признака (Rossielle, Hemblin, 1981). Как известно, экологическая пластичность образцов отражается в варьировании признака, происходящем при изменении факторов среды во время выращивания растений. Вторая группа была представлена параметрами стабильности образцов: показателем уровня и стабильности сорта ПУСС по Э.Д. Неттевичу (Nettevich et al., 1985) и параметром гомеостатичности Hom (Hangildin, Litvinenko, 1981). В соответствии с применяемым в настоящем исследовании критерием оценки адаптивности генотипов овса, основанном на минимальной изменчивости значений изучаемых признаков, высший ранг (1) присваивали образцам, обладающим наименьшим их варьированием (минимальные значения CV, d) и наибольшей их стабильностью (максимальные значения Hom и ПУСС). В работе использовали прием ранжирования образцов по их адаптивности и для оценок последней вычисляли суммы рангов.

Статистическую обработку данных проводили с помощью стандартных компьютерных программ Microsoft Excel. Достоверность результатов оценивали при  $p \leq 0,05$ .

## Результаты

В таблице 1 представлены результаты измерения содержания  $\beta$ -глюканов и масла в зерне исследуемых образцов овса. Можно видеть, что в условиях Красноярской лесостепи зерно пленчатых образцов овса характеризовалось существенно пониженным содержанием масла по сравнению с голозерными формами: от 3,8 до 8,4% у пленчатых образцов и соответственно от 6,6 до 10% у голозерных. По содержанию  $\beta$ -глюканов в зерне две формы овса имели размах от 2,6 до 6,4% у пленчатых образцов и от 3,5 до 5,3% у голозерных и значительно различались только для урожая 2017 г. Что касается сортовых различий в содержании рассматриваемых химических веществ в зерне, то за три года измерений у пленчатых форм по максимальному значению  $\beta$ -глюканов и масла выделился образец Местный Тунис 1 (к-15324). Среди голозерных форм наибольшей величиной  $\beta$ -глюканов в зерне характеризовался сорт 'Тайдон' (к-15183), а максимальным содержанием масла – сорт 'Вятский' (к-14960). Отметим, что в зерне овса, собранного в 2017 г., содержание  $\beta$ -глюканов (пленчатые образцы) и масла (обе формы овса) было минимальным.

В таблице 2 приведены результаты измерения массы 1000 зерен и натуры зерна исследуемых образцов овса.

**Таблица 1. Содержание  $\beta$ -глюканов и масла в зерне различных образцов овса по годам их выращивания в Красноярской лесостепи****Table 1. The content of  $\beta$ -glucans and oil in the grain of various oat accessions across the years of their cultivation in the Krasnoyarsk forest steppe**

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название образца / Accession name	Содержание $\beta$ -глюканов, % / $\beta$ -glucan content, %			Содержание масла, % / Oil content, %		
		2015	2016	2017	2015	2016	2017
<b>Пленчатые образцы / Hulled oat accessions</b>							
15008	Тубинский (St.) / Tubinsky (St.)	3,2	2,9	2,6	4,4	4,8	4,7
-	Казыр / Kazyr	3,1	2,8	3,2	4,6	4,9	4,4
14043	Саян / Sayan	3,2	3,1	2,8	4,5	4,7	4,5
15114	Перас / Pegas	5,3	4,9	3,3	7,7	7,7	5,6
15113	Корифей / Korifey	4,5	4,7	3,6	5,8	6,3	5,2
15185	Альтаир / Altair	5,2	4,3	3,4	7,3	6,7	5,5
15444	Сапсан / Sapsan	3,8	3,9	3,8	6,6	7,1	4,6
15443	Аватар / Avatar	4,2	4,6	4,1	6,1	6,9	4,7
15243	Envis	3,1	3,8	3,9	4,4	4,9	3,8
15259	РА 7836-9687	4,5	4,4	3,7	6,9	7,3	5,1
15324	Местный Тунис 1 / Mestny Tunis 1	5,4	6,4	3,7	8,2	8,4	5,2
-	Медведь / Medved	4,6	5,1	3,8	6,4	6,4	4,5
14857	Кречет / Krechet	3,4	3,5	3,2	5,0	5,4	4,5
	$\bar{x} \pm S_x$	4,1 $\pm$ 0,2	4,2 $\pm$ 0,2	3,5 $\pm$ 0,1*	6,0 $\pm$ 0,4*	6,3 $\pm$ 0,3*	4,8 $\pm$ 0,1*
<b>Голозерные образцы / Naked oat accessions</b>							
15067	Голец (St.) / Golets (St.)	3,9	3,6	4,7	6,6	7,8	7,4
15115	Алдан / Aldan	4,1	4,1	4,2	9,0	9,4	8,0
15183	Тайдон / Taidon	4,6	5,3	4,4	10,0	8,2	6,6
14960	Вятский / Vyatsky	3,6	3,5	4,1	9,4	9,2	8,4
15120	Гоша / Gosha	4,0	3,9	5,2	9,4	9,7	7,2
	$\bar{x} \pm S_x$	4,0 $\pm$ 0,2	4,1 $\pm$ 0,3	4,5 $\pm$ 0,2*	8,9 $\pm$ 0,6*	8,9 $\pm$ 0,4*	7,5 $\pm$ 0,3*

Примечание: St. – сорт-стандарт;

\* – различия между средними величинами пленчатых и голозерных образцов существенны при  $p \leq 0,05$ 

Note: St. – standard reference cultivar;

\* – differences between mean values of hulled and naked accessions are significant at  $p \leq 0,05$

**Таблица 2. Физические характеристики зерна различных образцов овса по годам их выращивания в Красноярской лесостепи****Table 2. Physical grain characteristics of different oat accessions across the years of their cultivation in the Krasnoyarsk forest steppe**

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название образца / Accession name	Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g			Натура, г/л / Test weight, g/l		
		2015	2016	2017	2015	2016	2017
<b>Пленчатые образцы / Hulled oat accessions</b>							
15008	Тубинский (St.) / Tubinsky (St.)	35,5	37,5	30,6	558	599	484
-	Казыр / Kazur	35,1	34,5	35,5	571	582	517
14043	Саян / Sayan	32,7	40,4	37,2	550	551	509
15114	Пегас / Pegas	38,2	46,8	45,3	531	563	517
15113	Корифей / Korifey	43,5	44,0	42,9	555	577	563
15185	Альтаир / Altair	44,7	48,0	43,4	542	584	492
15444	Сапсан / Sapsan	35,8	38,3	40,7	535	609	517
15443	Аватар / Avatar	35,8	33,4	36,5	535	586	492
15243	Envis	36,9	39,8	37,7	552	586	509
15259	РА 7836-9687	37,9	36,2	36,3	549	577	517
15324	Местный Тунис 1 / Mestny Tunis 1	30,6	30,9	34,8	522	553	509
-	Медведь / Medved	42,3	45,2	45,6	507	553	517
14857	Кречет / Krechet	37,4	38,0	36,7	524	582	492
$\bar{x} \pm S_x$		37,4 ± 1,1*	39,5 ± 1,5*	38,7 ± 1,2*	541 ± 5*	577 ± 5*	510 ± 5*
<b>Голозерные образцы / Naked oat accessions</b>							
15067	Голец (St.) / Golets (St.)	29,2	28,5	26,7	732	793	714
15115	Алдан / Aldan	26,5	26,5	21,9	695	815	588
15183	Тайдон / Taidon	30,5	29,8	31,1	706	670	732
14960	Вятский / Vyatsky	26,4	28,3	25,6	710	780	588
15120	Гоша / Gosha	25,9	28,8	28,7	673	688	732
$\bar{x} \pm S_x$		27,7 ± 0,9*	28,4 ± 0,5*	26,8 ± 1,5*	703 ± 10*	749 ± 29*	671 ± 34*

Примечание: St. – сорт-стандарт;

\* – различия между средними величинами пленчатых и голозерных образцов существенны при  $p \leq 0,05$ 

Note: St. – standard reference cultivar;

\* – differences between mean values of hulled and naked accessions are significant at  $p \leq 0.05$

Анализ данных показал, что в условиях Красноярской лесостепи пленчатые образцы овса формировали зерно с существенно более высоким значением массы 1000 зерен по сравнению с голозерными: соответственно от 30,6 до 48 г у пленчатых образцов и от 25,6 до 31,1 г у голозерных. Сравнение данных по натуре зерна образцов выявило обратную картину, а именно значимое преимущество голозерных образцов перед пленчатыми. Размах значений натуре зерна выразился величинами от 484 до 609 г/л у пленчатых и от 588 до 815 г/л у голозерных форм. Что касается сортовых различий в физических характеристиках зерна, то за три года измерений по максимальному значению массы 1000 зерен и натуре зерна среди пленчатых форм выделились соответственно образцы 'Альтаир' (к-15185) и 'Корифей' (к-15113), а среди голозерных – сорта 'Тайдон' и 'Голец' (к-15067). Значение массы 1000 зерен у голозерных образцов и натуре зерна у обеих форм было минимальным у овса, собранного в 2017 г.

При проведении оценки адаптивного потенциала образцов овса целесообразно выполнить дисперсионный анализ для установления значимости влияния факторов «год», «генотип» и «тип зерновки» на химические и физические характеристики зерна. Данные представлены в таблицах 3 и 4. В результате проведенного анализа была найдена существенная зависимость показателей зерна от фактора «тип зерновки» ( $F_{\text{факт}} > F_{0,5}$ ). Данные проведенных вычислений среди исследуемых образцов

овса выявили статистически значимую долю влияния условий года выращивания на физико-химические параметры зерна (кроме содержания  $\beta$ -глюканов в зерне). Голозерные образцы продемонстрировали меньшую степень зависимости от фактора «год» по сравнению с пленчатыми. Было установлено, что у пленчатой формы овса большинство рассматриваемых характеристик зерна сильнее зависели от погодных условий вегетационного периода, чем от генотипа.

Результаты вычисленных значений четырех показателей адаптивности образцов овса по содержанию  $\beta$ -глюканов и масла в зерне приведены в таблице 5. Можно видеть, что параметры пластичности (CV и d) и стабильности (Ном и ПУСС) образцов овса, определенные и по уровню  $\beta$ -глюканов, и по содержанию масла в зерне, практически не различались между двумя формами овса. Как видно из таблицы 5, наименьшей величиной пластичности и наибольшим значением стабильности по содержанию  $\beta$ -глюканов в зерне среди пленчатых образцов овса отличался образец 'Сапан' (к-15444), а среди голозерных – 'Алдан' (к-15115). Минимальный уровень пластичности и максимальный уровень стабильности по содержанию масла был характерен для пленчатого образца 'Саян' (к-14043) и голозерного сорта 'Вятский'.

Результаты вычисления суммы рангов для каждого образца овса по уровню показателей его адаптивности представлены в таблице 6. Видно, что минимальная сумма рангов для параметров пластичности и стабильности

**Таблица 3. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа влияния условий выращивания и типа зерновки на химические и физические характеристики зерна овса**

**Table 3. Two-way ANOVA results showing the effect of growing conditions and the type of grain on chemical and physical characteristics of oat grain**

Характеристика зерна / Grain characteristics	Источник варьирования / Source of variation	Степени свободы / Degrees of freedom	Средний квадрат / Mean square	Вклад факторов, % / Contribution of factors, %	$F_{\text{факт}}$	$F_{0,5}$
Содержание $\beta$ -глюканов / $\beta$ -glucan content	Год / Year	2	0,049	3,815	1,574	3,60
	Тип зерна / Grain type	1	0,432	33,497	13,817	4,54
	Год и тип зерна / Year and grain type	2	0,808	62,688	25,858	3,60
Содержание масла / Oil content	Год / Year	2	5,077	10,154	108,509	3,60
	Тип зерна / Grain type	1	44,881	89,752	959,140	4,54
	Год и тип зерна / Year and grain type	2	0,046	0,094	1,001	3,60
Масса 1000 зерен / 1000 grain weight	Год / Year	2	4,574	0,636	8,260	3,60
	Тип зерна / Grain type	1	712,751	99,019	1286,867	4,54
	Год и тип зерна / Year and grain type	2	2,486	0,345	4,488	3,60
Натура / Test weight	Год / Year	2	10572,635	6,076	1010,767	3,60
	Тип зерна / Grain type	1	163348,35	93,881	15616,464	4,54
	Год и тип зерна / Year and grain type	2	74,015	0,042	7,076	3,60

**Таблица 4. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа влияния условий выращивания и генотипа на химические и физические характеристики зерна овса****Table 4. Two-way ANOVA results showing the effect of growing conditions and the genotype on chemical and physical characteristics of oat grain**

Характеристика зерна / Grain characteristics	Источник варьирования / Source of variation	Степени свободы / Degrees of freedom	Средний квадрат / Mean square	Вклад факторов, % / Contribution of factors, %	F <sub>факт</sub>	F <sub>0,5</sub>
<b>Пленчатые образцы / Hulled oat accessions</b>						
Содержание β-глюканов / β-glucan content	Год / Year	2	4,514	55,204	477,988	3,24
	Генотип / Genotype	12	3,062	37,445	324,223	2,01
	Год и генотип / Year and genotype	24	0,601	7,351	63,652	1,81
Содержание масла / Oil content	Год / Year	2	32,064	71,566	735,233	3,09
	Генотип / Genotype	12	11,402	25,450	261,464	1,85
	Год и генотип / Year and genotype	24	1,336	2,983	30,648	1,63
Масса 1000 зерен / 1000 grain weight	Год / Year	2	55,662	18,956	98,701	3,09
	Генотип / Genotype	12	217,343	74,016	385,399	1,85
	Год и генотип / Year and genotype	24	20,639	7,028	36,597	1,63
Натура / Test weight	Год / Year	2	57968,196	95,353	10533,465	3,09
	Генотип / Genotype	12	1607,888	2,645	292,171	1,85
	Год и генотип / Year and genotype	24	1217,034	2,002	221,149	1,63
<b>Голозерные образцы / Naked oat accessions</b>						
Содержание β-глюканов / β-glucan content	Год / Year	2	0,602	29,503	60,990	3,74
	Генотип / Genotype	4	0,969	47,463	98,118	3,11
	Год и генотип / Year and genotype	8	0,470	23,034	47,618	2,70
Содержание масла / Oil content	Год / Year	2	12,147	58,099	281,245	3,22
	Генотип / Genotype	4	5,869	28,068	135,874	2,60
	Год и генотип / Year and genotype	8	2,892	13,833	66,962	2,17
Масса 1000 зерен / 1000 grain weight	Год / Year	2	12,570	17,534	32,340	3,22
	Генотип / Genotype	4	48,486	67,632	124,744	2,60
	Год и генотип / Year and genotype	8	10,634	14,834	27,360	2,17
Натура / Test weight	Год / Year	2	31041,203	56,452	2925,588	3,22
	Генотип / Genotype	4	5743,592	10,445	541,325	2,60
	Год и генотип / Year and genotype	8	18201,538	33,102	1715,468	2,17

Таблица 5. Показатели адаптивности различных образцов овса по содержанию  $\beta$ -глюканов и масла в зерне  
 Table 5. Adaptability indicators of various oat accessions measured for the content of  $\beta$ -glucans and oil in grain

Название образца / Accession name	Показатели адаптивности / Adaptability indicators									
	по содержанию $\beta$ -глюканов, % / for $\beta$ -glucan content, %					по содержанию масла, % / for oil content, %				
	CV, %	d	Ном	ПУСС / CSL, %	CV, %	d	Ном	ПУСС / CSL, %	CV, %	Ном
Пленчатые образцы / Hulled oat accessions										
Тубинский (St.) / Tubinsky (St.)	10,3	-0,6	0,47	100,0	4,5	-0,4	2,57	100,0		100,0
Казырг / Kazurg	6,7	-0,4	1,13	167,2	5,4	-0,5	1,71	83,4		83,4
Саян / Sayan	6,5	-0,4	1,16	174,2	2,5	-0,2	9,14	175,5		175,5
Пегас / Pegas	23,5	-2,0	0,96	105,6	17,4	-1,1	0,37	59,2		59,2
Корифей / Korifej	13,4	-1,1	0,29	166,7	9,7	-1,1	0,54	71,8		71,8
Альгаир / Altair	21,6	-1,8	1,10	103,9	14,0	-1,8	0,26	63,4		63,4
Сапсан / Sapsan	1,5	-0,1	25,33	1198	21,8	-2,5	0,11	35,8		35,8
Авагар / Avatar	6,2	-0,5	1,39	365,4	19,3	-2,2	0,14	37,8		37,8
Envis	12,1	-0,8	0,37	131,2	13,3	-1,1	0,30	29,9		29,9
РА 7836-9687	10,4	-0,8	0,50	207,9	18,2	-2,2	0,16	47,7		47,7
Местный Тунис 1 / Mestny Tunis 1	26,4	-2,7	0,07	124,1	25,1	-3,2	0,09	44,0		44,0
Медведь / Medved	14,6	-1,3	0,24	170,0	19,5	-1,9	0,16	36,0		36,0
Кречет / Krechet	4,5	-0,3	2,50	309,3	9,2	-0,9	0,60	56,2		56,2
$\bar{x} \pm S_x$	12,1 $\pm$ 2,1	1,0 $\pm$ 0,2	2,67 $\pm$ 1,90	255,7 $\pm$ 88,6	13,8 $\pm$ 1,9	1,5 $\pm$ 0,2	1,24 $\pm$ 0,69	64,7 $\pm$ 10,8		64,7 $\pm$ 10,8

Таблица 5. Окончание  
Table 5. The end

Название образца / Accession name	Показатели адаптивности / Adaptability indicators									
	по содержанию $\beta$ -глюканов, % / for $\beta$ -glucan content, %					по содержанию масла, % / for oil content, %				
	CV, %	d	Ном	ПУСС / CSL, %	CV, %	d	Ном	ПУСС / CSL, %		
Голозерные образцы / Naked oat accessions										
Голец (St.) / Golets (St.)	13,7	-1,1	0,27	100,0	8,5	-1,2	0,71	100,0		
Алдан / Aldan	1,7	-0,1	24,35	840,2	8,5	-1,4	0,74	145,7		
Тайдон / Taidon	9,9	-0,9	0,54	191,5	20,6	-3,4	0,12	53,2		
Вятский / Vyatsky	8,6	-0,6	0,72	134,8	5,6	-1,0	1,60	232,3		
Гоша / Gosha	16,8	-1,3	0,20	94,7	15,5	-2,5	0,23	79,5		
$\bar{x} \pm S_x$	$10,1 \pm 2,5$	$0,8 \pm 0,2$	$5,21 \pm 4,8$	$272,2 \pm 143,0$	$11,7 \pm 2,8$	$1,9 \pm 0,5$	$0,68 \pm 0,26$	$122,1 \pm 31,4$		

Примечание: St. – сорт-стандарт; ПУСС – показатель уровня стабильности сорта  
Note: St. – standard reference cultivar; CSL – the cultivar's stability level

**Таблица 6. Результаты ранжирования образцов овса по показателям адаптивности по содержанию  $\beta$ -глюканов и масла в зерне****Table 6. Results of ranking oat accessions according to adaptability indicators measured for the content of  $\beta$ -glucans and oil in grain**

Название образца / Accession name	Значения рангов / Rank values									
	по содержанию $\beta$ -глюканов / for $\beta$ -glucan content					по содержанию масла / for oil content				
	CV	d	Ном	ПУСС / CSL	Сумма рангов / Sum of ranks	CV	d	Ном	ПУСС / CSL	Сумма рангов / Sum of ranks
<b>Пленчатые образцы / Hulled oat accessions</b>										
Тубинский (St.) / Tubinsky (St.)	6	6	8	13	33	2	2	2	2	8
Казыр / Kazyr	5	3,5	5	7	20,5	3	3	3	3	12
Саян / Sayan	4	3,5	4	5	16,5	1	1	1	1	4
Пегас / Pegas	12	12	12	11	47	8	6	6	6	26
Корифей / Korifey	9	9	10	8	36	5	6	5	4	20
Альтаир / Altair	11	11	6	12	40	7	8	8	5	28
Сапсан / Sapsan	1	1	1	1	4	12	12	12	12	48
Аватар / Avatar	3	5	3	2	13	10	10,5	11	10	41,5
Envis	8	7,5	9	9	33,5	6	6	7	13	32
РА 7836-9687	7	7,5	7	4	25,5	9	10,5	9	8	36,5
Местный Тунис 1 / Mestny Tunis 1	13	13	13	10	49	13	13	13	9	48
Медведь / Medved	10	10	11	6	37	11	9	10	11	41
Кречет / Krechet	2	2	2	3	9	4	4	4	7	19
Коэффициент корреляции Спирмена / Spearman's rank correlation coefficient	0,98*	0,96*	0,94*	0,84*	-	0,98*	0,97*	0,99*	0,87*	-
<b>Голозерные образцы / Naked oat accessions</b>										
Голец (St.) / Golets (St.)	4	4	4	4	16	2,5	2	3	3	10,5
Алдан / Aldan	1	1	1	1	4	2,5	3	2	2	9,5
Тайдон / Taidon	3	3	3	2	11	5	5	5	5	20
Вятский / Vyatsky	2	2	2	3	9	1	1	1	1	4
Гоша / Gosha	5	5	5	5	20	4	4	4	4	16
Коэффициент корреляции Спирмена / Spearman's rank correlation coefficient	0,99*	0,99*	0,99*	0,99*	-	0,99*	0,99*	1,00*	1,00*	-

Примечание: St. – сорт-стандарт; ПУСС – показатель уровня стабильности сорта;

\* – значения коэффициентов корреляции Спирмена существенны при  $p \leq 0,05$

Note: St. – standard reference cultivar; CSL – the cultivar's stability level;

\* – values of Spearman's rank correlation coefficients are significant at  $p \leq 0,05$

по содержанию β-глюканов в зерне была характерна для пленчатого образца 'Сапсан' и голозерного 'Алдан'. Что касается оценки адаптивности образцов на основе содержания масла, то минимальную сумму баллов набрали пленчатый образец 'Саян' и голозерный сорт 'Вятский'.

Следует подчеркнуть наличие хорошего совпадения результатов ранжирования образцов по их адаптивности, определяемых на основе разных показателей пла-

стичности и стабильности. Это иллюстрируют значимые величины коэффициентов корреляции Спирмена между рангами по отдельным параметрам адаптивности и суммой рангов (см. табл. 6).

Результаты вычисления значений четырех показателей адаптивности образцов овса по массе 1000 зерен и натуре зерна приведены в таблице 7. Можно видеть, что параметры пластичности и стабильности образцов

**Таблица 7. Показатели адаптивности различных образцов овса по физическим характеристикам зерна**  
**Table 7. Adaptability indicators of various oat accessions measured for physical grain characteristics**

Название образца / Accession name	Показатели адаптивности / Adaptability indicators							
	по массе 1000 зерен, г / for 1000 grain weight, g				по натуре зерна, г/л / for test weight, g/l			
	CV, %	d	Hom	ПУСС / CSL, %	CV, %	d	Hom	ПУСС / CSL, %
<b>Пленчатые образцы / Hulled oat accessions</b>								
Тубинский (St.) / Tubinsky (St.)	10,3	-6,9	0,48	100,0	10,7	-115	0,44	100,0
Казыр / Kazyr	1,4	-1,0	25,0	756,9	6,2	-65	1,38	179,0
Саян / Sayan	10,5	-7,7	0,46	111,6	4,5	-42	2,84	229,2
Пегас / Pegas	10,6	-8,6	0,48	153,7	4,4	-46	2,65	234,4
Корифей / Korifey	1,3	-1,1	30,42	935,5	2,0	-22	12,84	570,8
Альтаир / Altair	5,2	-4,6	1,89	254,7	8,5	-92	0,69	122,2
Сапсан / Sapsan	6,4	-4,9	1,22	147,3	8,8	-92	0,68	124,7
Аватар / Avatar	4,6	-3,1	2,47	173,1	8,8	-94	0,65	117,6
Envis	3,9	-2,9	3,37	239,2	7,0	-77	1,02	154,0
РА 7836-9687	2,6	-1,7	8,33	334,7	5,5	-60	1,66	195,3
Местный Тунис 1 / Mestny Tunis 1	7,3	-4,2	1,05	90,7	4,3	-44	2,79	231,8
Медведь / Medved	4,1	-3,3	3,28	309,0	4,6	-46	2,48	215,1
Кречет / Krechet	1,7	-1,3	16,92	258,8	8,6	-90	0,69	118,1
$\bar{x} \pm S_x$	5,4 ± 1,0	-4,0 ± 0,7	7,34 ± 2,82	297,3 ± 71,7	6,4 ± 0,7	-68 ± 8	2,37 ± 0,91	199,4 ± 3,8
<b>Голозерные образцы / Naked oat accessions</b>								
Голец (St.) / Golets (St.)	4,6	-2,5	2,44	100,0	5,5	-79	1,72	100,0
Алдан / Aldan	10,6	-4,6	0,51	34,4	16,2	-227	0,19	29,8
Тайдон / Taidon	2,1	-1,3	11,17	258,1	4,4	-62	2,58	111,0
Вятский / Vyatsky	5,2	-2,7	1,90	80,5	14,0	-192	0,25	33,9
Гоша / Gosha	5,9	-2,9	1,62	76,3	4,4	-44	3,60	109,4
$\bar{x} \pm S_x$	5,6 ± 1,4	-2,8 ± 0,5	3,53 ± 1,94	109,9 ± 38,6	8,9 ± 2,6	121 ± 37	2,01 ± 0,66	76,8 ± 18,5

Примечание: St. – сорт-стандарт; ПУСС – показатель уровня стабильности сорта

Note: St. – standard reference cultivar; CSL – the cultivar's stability level

овса, найденные по массе 1000 зерен и натуре зерна, существенно не различались между пленчатыми и голозерными формами овса. При этом отмечена тенденция увеличения параметров стабильности у пленчатых форм овса по сравнению с голозерными. Наименьшей величиной пластичности и наибольшим значением стабильности по массе 1000 зерен среди пленчатых образцов овса отличался образец 'Корифей', а среди голозерных – 'Тайдон'. По натуре зерна среди пленчатых образцов овса с минимальным уровнем пластичности и максимальным значением стабильности также выделялся образец 'Корифей', а среди голозерных – образцы 'Гоша' (к-15120) и 'Тайдон'.

В работе уровень адаптивности образцов овса по массе 1000 зерен и натуре зерна характеризовали с помощью ранжирования. Результаты вычисления суммы рангов представлены в таблице 8. Можно видеть, что наивысшую оценку по массе 1000 зерен на основании минимальной суммы рангов получили пленчатый образец 'Корифей' и голозерный образец 'Тайдон'. Что касается оценки адаптивности образцов на основе натуре зерна, то минимальную сумму баллов набрали образцы 'Корифей' и 'Гоша'.

Отметим наличие хорошего совпадения результатов ранжирования образцов по их адаптивности, определяе-

**Таблица 8. Результаты ранжирования образцов овса по показателям адаптивности по массе 1000 зерен и натуре зерна**

**Table 8. Results of ranking oat accessions according to adaptability indicators measured for 1000 grain weight of and test weight**

Название образца / Accession name	Значения рангов / Rank values									
	по массе 1000 зерен, г / for 1000 grain weight, g					по натуре, г/л / for test weight, g/l				
	CV	d	Ном	ПУСС / CSL	Сумма рангов / Sum of ranks	CV	d	Ном	ПУСС / CSL	Сумма рангов / Sum of ranks
<b>Пленчатые образцы / Hulled oat accessions</b>										
Тубинский (St.) / Tubinsky (St.)	11	11	11	12	45	13	13	13	13	52
Казыр / Kazyr	2	1	2	2	7	7	7	7	7	28
Саян / Sayan	12	12	13	11	48	4	2	2	4	12
Пегас / Pegas	13	13	12	9	47	3	4,5	4	2	13,5
Корифей / Korifey	1	2	1	1	5	1	1	1	1	4
Альтаир / Altair	8	9	8	6	31	9	10,5	9,5	10	39
Сапсан / Sapsan	9	10	9	10	38	11,5	10,5	11	9	42
Аватар / Avatar	7	6	7	8	28	11,5	12	12	12	47,5
Envis	5	5	5	7	22	8	8	8	8	32
РА 7836-9687	4	4	4	3	15	6	6	6	6	24
Местный Тунис 1 / Mestny Tunis 1	10	8	10	13	41	2	3	3	3	11
Медведь / Medved	6	7	6	4	23	5	4,5	5	5	19,5
Кречет / Krechet	3	3	3	5	14	10	9	9,5	11	39,5
Коэффициент корреляции Спирмена / Spearman's rank correlation coefficient	0,99*	0,96*	0,99*	0,92*	–	0,99*	0,99*	1,00*	0,98*	–

Таблица 8. Окончание

Table 8. The end

Название образца / Accession name	Значения рангов / Rank values									
	по массе 1000 зерен, г / for 1000 grain weight, g					по натуре, г/л / for test weight, g/l				
	CV	d	Ном	ПУСС / CSL	Сумма рангов / Sum of ranks	CV	d	Ном	ПУСС / CSL	Сумма рангов / Sum of ranks
<b>Голозерные образцы / Naked oat accessions</b>										
Голец (St.) / Golets (St.)	2	2	2	2	8	3	3	4	3	13
Алдан / Aldan	5	5	5	5	20	5	5	3	5	18
Тайдон / Taidon	1	1	1	1	4	1,5	2	2	1	6,5
Вятский / Vyatsky	3	3	3	3	12	4	4	5	4	17
Гоша / Gosha	4	4	4	4	16	1,5	1	1	2	5,5
Коэффициент корреляции Спирмена / Spearman's rank correlation coefficient	1,00*	1,00*	1,00*	1,00*	–	1,00*	0,99*	0,96*	0,99*	–

Примечание: St. – сорт-стандарт; ПУСС – показатель уровня стабильности сорта;

\* – значения коэффициентов корреляции Спирмена существенны при  $p \leq 0,05$

Note: St. – standard reference cultivar; CSL – the cultivar's stability level;

\* – values of Spearman's rank correlation coefficients are significant at  $p \leq 0.05$

мых на основе разных показателей пластичности и стабильности по физическим признакам. Об этом говорят значимые величины коэффициентов корреляции Спирмена между рангами по отдельным параметрам адаптивности и суммой рангов (см. табл. 8).

Далее рассмотрим результаты вычисления связи между значениями одноименных показателей адаптивности образцов овса по химическим и физическим характеристикам зерна. Данные приведены в таблице 9. Для пленчатых образцов овса можно видеть наличие существенной положительной корреляционной связи между параметрами стабильности (Ном и ПУСС) образцов, определенными для массы 1000 зерен, с одной стороны, и таковыми, найденными для натуре зерна, с другой.

При рассмотрении данных для голозерных образцов овса, представленных в таблице 9, можно заметить наличие сильной существенной отрицательной связи между показателем пластичности d по натуре зерна, с одной стороны, и таковым по содержанию  $\beta$ -глюканов в зерне – с другой. Кроме того, продемонстрирована значимая отрицательная корреляция между параметром стабильности Ном по натуре зерна и таковым по содержанию масла в зерне. Для пленчатых образцов найдена существенная связь между показателями стабильности Ном и ПУСС по массе 1000 зерен и таковыми по натуре зерна.

Проанализируем возможную связь между абсолютными значениями (средние за три года) химических

и физических параметров зерна образцов овса и показателями их адаптивности по этим признакам. Результаты приведены в таблице 10. Можно видеть, что для пленчатых образцов имеет место существенная положительная корреляция между значением содержания масла в зерне, с одной стороны, и показателями их пластичности (CV, d) по данному химическому признаку – с другой.

Для голозерных форм овса установлены сильные существенные связи между средними величинами массы 1000 зерен образцов и параметрами их пластичности CV и d (отрицательные корреляции) либо показателем их стабильности ПУСС (положительные корреляции).

### Обсуждение

Установлено, что зерно пленчатых образцов овса характеризовалось существенно пониженным содержанием масла по сравнению с голозерными. По содержанию  $\beta$ -глюканов в зерне пленчатые и голозерные формы овса значимо не различались, за исключением урожая в 2017 г. Пленчатые образцы формировали более крупное зерно по сравнению с голозерными, но не превосходили последние по натуре зерна. В литературе также показано существенное преимущество голозерных образцов овса по сравнению с пленчатыми в содержании масла (Biel et al., 2009; Yusova et al., 2020b). При этом найдено, что уровни  $\beta$ -глюканов и масса 1000 зерен у голозерных

**Таблица 9. Связь между значениями одноименных показателей адаптивности образцов овса по химическим и физическим характеристикам зерна****Table 9. The relationship between the values of the same adaptability indicators of oat accessions measured for chemical and physical grain characteristics**

Группы образцов / Groups of accessions	Сопоставляемые показатели адаптивности / Comparable adaptability indicators	Значения коэффициентов корреляции / Correlation coefficient values			
		CV	d	Hom	ПУСС / CSL
Пленчатые / Hulled	Содержание β-глюканов и масла / β-glucan content and oil content	0,38	0,44	-0,12	-0,26
	Содержание β-глюканов и масса 1000 зерен / β-glucan content and 1000 grain weight	0,28	0,24	-0,13	-0,16
	Содержание β-глюканов и натура зерна / β-glucan content and test weight	-0,41	-0,42	-0,19	-0,22
	Содержание масла и масса 1000 зерен / Oil content and 1000 grain weight	-0,04	-0,17	-0,20	-0,01
	Содержание масла и натура зерна / Oil content and test weight	-0,10	-0,03	-0,01	0,13
	Масса 1000 зерен и натура зерна / 1000 grain weight and test weight	0,11	0,07	0,78*	0,69*
Голозерные / Naked	Содержание β-глюканов и масла / β-glucan content and oil content	0,34	0,40	0,04	0,17
	Содержание β-глюканов и масса 1000 зерен / β-glucan content and 1000 grain weight	-0,60	-0,64	-0,41	-0,39
	Содержание β-глюканов и натура зерна / β-glucan content and test weight	-0,84	-0,94*	-0,01	-0,63
	Содержание масла и масса 1000 зерен / Oil content and 1000 grain weight	-0,53	-0,58	-0,50	-0,56
	Содержание масла и натура зерна / Oil content and test weight	-0,71	-0,66	-0,93*	-0,87
	Масса 1000 зерен и натура зерна / 1000 grain weight and test weight	0,74	0,71	0,22	0,60

Примечание: ПУСС – показатель уровня стабильности сорта;

\* – значения коэффициентов корреляции существенны при  $p \leq 0,05$

Note: CSL – the cultivar's stability level;

\* – values of the correlation coefficients are significant at  $p \leq 0.05$

**Таблица 10.** Связь между средними значениями химических и физических характеристик зерна образцов овса и показателями их адаптивности по этим признакам**Table 10.** The relationship between the average values of chemical and physical grain characteristics of oat accessions and their adaptability indicators measured for these characteristics

Группы образцов / Groups of accessions	Признаки образцов / Characteristics of accessions	Значения коэффициентов корреляции / Correlation coefficient values			
		CV	d	Ном	ПУСС / CSL
Пленчатые / Hulled	Содержание β-глюканов / β-glucan content	0,69*	-0,78*	-0,09	-0,05
	Содержание масла / Oil content	0,79*	0,76*	-0,49	-0,44
	Масса 1000 зерен / 1000 grain weight	-0,11	0,07	0,29	0,27
	Натура зерна / Test weight	-0,04	0,01	0,44	0,40
Голозерные / Naked	Содержание β-глюканов / β-glucan content	0,20	-0,33	-0,10	-0,04
	Содержание масла / Oil content	-0,07	-0,02	-0,28	-0,48
	Масса 1000 зерен / 1000 grain weight	-0,94*	-0,96*	0,88	0,92*
	Натура зерна / Test weight	-0,41	0,36	-0,02	0,41

Примечание: ПУСС – показатель уровня стабильности сорта;

\* – значения коэффициентов корреляции существенны при  $p \leq 0,05$

Note: St. – standard reference cultivar; CSL – the cultivar's stability level;

\* – values of the correlation coefficients are significant at  $p \leq 0.05$

ячменей были ниже таковой у пленчатых образцов (Šterna et al., 2017).

У овса, собранного в 2017 г., большинство химических и физических параметров зерна имело минимальное значение. Это касается уровней β-глюканов (пленчатые овсы), содержания масла и натуры зерна (пленчатые и голозерные образцы), массы 1000 зерен (голозерные образцы). Зарегистрированный эффект может говорить о том, что характер влияния внешних факторов на указанные химические и физические признаки зерна овса предположительно схожий.

Что касается сортовой специфики, то за три года измерений у пленчатых форм по максимальному значению β-глюканов и масла в зерне выделился образец Местный Тунис 1. Среди голозерных форм наибольшей величиной β-глюканов в зерне характеризовался образец 'Тайдон', а самым большим содержанием масла – 'Вятский'. По максимальному значению массы 1000 зерен и натуры зерна среди пленчатых овсов отмечены соответственно образцы 'Альтаир' и 'Корифей', а среди голозерных – 'Тайдон' и 'Голец'. При этом образец 'Тайдон' отличался не только наибольшей величиной массы 1000 зерен, но и максимальным уровнем β-глюканов в зерне (см. табл. 1).

Установлено, что между двумя формами овса параметры пластичности (CV и d) и стабильности (Ном и ПУСС)

образцов, определенные по уровню β-глюканов и содержанию масла в зерне, массе 1000 зерен и натуре зерна, существенно не различались. При этом отмечена тенденция увеличения параметров стабильности по массе 1000 зерен и натуре зерна у пленчатых форм овса по сравнению с голозерными, которая подтверждает зарегистрированный аналогичный эффект по показателю ПУСС (Yusova et al., 2020c). В литературе у пленчатых форм овса по сравнению с голозерными одними исследователями зафиксирована более высокая доля вклада условий года выращивания в изменчивость содержания масла в зерне овса (Yusova et al., 2020b), другими авторами найдена весьма низкая доля вклада условий года в варьирование содержания масла и β-глюканов в зерне (Šterna et al., 2018).

Наименьшей величиной пластичности и наибольшим значением стабильности по содержанию β-глюканов в зерне среди пленчатых форм овса отличался образец 'Сапан', а среди голозерных – 'Алдан'. Минимальный уровень пластичности и максимальный уровень стабильности по содержанию масла был характерен для пленчатого образца 'Саян' и голозерного 'Вятский'. Отметим, что образцы 'Сапан' и 'Алдан' были наиболее стабильными по содержанию β-глюканов в зерне, но наименее стабильными по содержанию в нем масла. Образец овса 'Вятский' обладал не только лучшей оценкой адаптивно-

сти по содержанию масла в зерне, но и выделялся по максимальному уровню в нем масла.

Наименьшей величиной пластичности и наибольшим значением стабильности по массе 1000 зерен среди пленчатых образцов овса отличался образец 'Корифей', а среди голозерных – 'Тайдон'. Что касается природы зерна, то среди пленчатых овсов с минимальным уровнем пластичности и максимальным значением стабильности также выделялся образец 'Корифей', а среди голозерных форм – 'Гоша' и 'Тайдон'. Подчеркнем, что пленчатый образец 'Корифей' и голозерный 'Тайдон' были максимально стабильными и по массе 1000 зерен, и по натуре зерна (показатель ПУСС).

Что касается сортовой специфики овса, то в работе была зарегистрирована минимальная сумма рангов для показателей пластичности и стабильности по содержанию  $\beta$ -глюканов в зерне у пленчатого образца 'Сапан' и голозерного образца 'Алдан', по содержанию масла – соответственно у образцов 'Саян' и 'Вятский', по массе 1000 зерен – у образцов 'Корифей' и 'Тайдон', а по натуре зерна – соответственно у образцов 'Корифей' и 'Гоша'.

В работе прослежено совпадение результатов ранжирования образцов по их адаптивности, определяемого на основе разных показателей пластичности и стабильности. Коэффициенты корреляции Спирмена для химических и физических признаков зерна составили существенные величины. Установленные связи позволяют предположить, что все четыре используемых критерия адаптивности по химическим и физическим признакам «выставляют» одному и тому же образцу овса очень близкие, практически одинаковые оценки. Другими словами, пониженный уровень экологической пластичности образца определенно предполагает повышенную величину его стабильности и наоборот.

В настоящем исследовании не наблюдалось связи между показателями адаптивности образцов по содержанию  $\beta$ -глюканов и таковыми по содержанию масла (см. табл. 9), хотя из литературных данных о позитивной корреляции между этими химическими веществами в зерне овса (Šterna et al., 2018) таковой эффект был ожидаем.

Для пленчатых образцов овса установлена существенная положительная корреляция между параметрами стабильности образцов (Ном и ПУСС), определенными для массы 1000 зерен, с одной стороны, и таковыми, найденными для природы зерна, с другой стороны (см. табл. 9). Зарегистрированный результат предполагает высокую вероятность получения образцов с повышенной стабильностью по массе 1000 зерен в случае отбора форм с высокой стабильностью по натуре зерна и наоборот.

Для голозерных образцов овса выявлено наличие существенных связей между показателями адаптивности по обоим химическим признакам зерна и таковыми по натуре зерна. Во-первых, установлена значимая отрицательная корреляция между величиной параметра пластичности  $d$ , определенной по содержанию  $\beta$ -глюканов в зерне, и таковой, найденной по натуре зерна образцов. Во-вторых, зафиксирована существенная отрицательная корреляция между показателем стабильности Ном, рассчитанным по содержанию масла в зерне, и таковым, определенным по натуре зерна образцов овса. Зарегистрированные факты говорят о том, что селекция овса на пониженную пластичность образцов по уровню  $\beta$ -глюканов в зерне или повышенную их стабильность по содержанию масла в зерне, вероятно, бу-

дет сопровождаться снижением их стабильности по натуре зерна.

Полученные данные могут свидетельствовать о принципиальной возможности косвенной оценки адаптивности образцов овса по химическому признаку зерна (содержание в нем  $\beta$ -глюканов или масла) на основе вычисления их адаптивности по физической характеристике (натура зерна). В прикладном аспекте описанные результаты дают основание для реализации неповреждающего скрининга генотипов овса на адаптивность по содержанию в зерне ценных веществ –  $\beta$ -глюканов и масла, используя вместо трудоемкого и дорогостоящего химического либо инструментального метода анализа лишь данные о легко измеряемом физическом параметре – натуре зерна.

Для пленчатых образцов установлена существенная положительная корреляция между средним значением содержания масла в зерне, с одной стороны, и показателем их пластичности (CV) по данному химическому признаку – с другой. Это может означать, что образцы с пониженной пластичностью по содержанию масла будут характеризоваться меньшим абсолютным уровнем рассматриваемого химического вещества в зерне. Иначе говоря, зарегистрированный результат свидетельствует о высоком риске получения пленчатого овса с низким уровнем масла в зерне при его селекции на высокую стабильность по данному химическому признаку.

Для голозерных форм овса зафиксированы сильные существенные связи между средними величинами массы 1000 зерен образцов и параметрами их пластичности CV и  $d$  (отрицательные корреляции) либо показателем их стабильности ПУСС (положительная корреляция) по данному физическому признаку. Описанный результат может говорить в пользу того, что успешная селекция овса на минимальную пластичность и максимальную стабильность образцов по ценному признаку «масса 1000 зерен» будет, по всей вероятности, сопровождаться ростом крупности зерна.

Каковы возможные причины существования связи между адаптивностью образцов овса по исследуемым химическим характеристикам зерна и таковой по физическим его параметрам? Предположительно, они могут быть следующими.

1) Наличие зависимости содержания рассматриваемых химических веществ от анатомического строения зерновки.

Как известно,  $\beta$ -глюканы в основном входят в состав клеточных стенок эндосперма (Loskutov, Polonskiy, 2017). Поэтому возможна зависимость их концентрации от массовой доли эндосперма в зерновке (а значит, связь с массой 1000 зерен) или от ее плотности (а значит, связь с натурой зерна). Действительно, в литературе показано, что содержание  $\beta$ -глюканов положительно коррелирует с массой 1000 зерен (Saastamoinen et al., 1992; Polonskiy et al., 2021), натурой зерна (Saastamoinen et al., 1992; Peterson et al., 1995), плотностью лишенного пленок зерна (Polonskiy et al., 2020).

В случае с содержанием масла в зерне зависимость его от массы 1000 зерен овса и природы зерна также экспериментально установлена, а у голозерных сортов овса найдена значимая отрицательная корреляция между содержанием масла в зерне и натурой зерна (Polonskiy et al., 2019). В настоящей работе продемонстрирована тесная корреляция между стабильностью образцов по содержанию масла в зерне и таковой по величине природы зерна. Этот факт предположительно означает, что указанные

химические и физические признаки овса, во-первых, связаны друг с другом, а во-вторых, изменяются по годам выращивания в противоположных направлениях почти синхронно.

Заметим, что показанное в литературе (Polonskiy et al., 2019; Gerasimov et al., 2021) существование значимых положительных связей между содержанием β-глюканов и массой 1000 зерен, содержанием β-глюканов и содержанием масла в зерне; содержанием масла и массой 1000 зерен вовсе не означает наличие корреляции между адаптивностью образцов овса по содержанию этих веществ в зерне и таковой по его физическим параметрам, что и продемонстрировано в настоящей работе (см. табл. 9).

2) Существование зависимости химических процессов накопления β-глюканов и масла в зерне, а также ростовых процессов зерновки от экологических факторов.

По-видимому, эффект обусловлен комплексом погодных условий, который складывается во время налива зерна в разные годы выращивания овса. В литературе показаны соответствующие зависимости содержания β-глюканов и масла от условий внешней среды (Saastamoinen et al., 1992; Gerasimov et al., 2021).

3) Наличие генетических особенностей (сортовой специфики) в зависимости содержания указанных химических веществ в зерне и его физических характеристик, что продемонстрировано в ряде публикаций (Re-daelli et al., 2013; Šterna et al., 2018).

### Заключение

Таким образом, по результатам проведенных исследований наиболее адаптивными для условий Красноярской лесостепи по содержанию β-глюканов в зерне являются соответственно пленчатые и голозерные образцы 'Сапан' (к-15444) и 'Алдан' (к-15115), по содержанию масла – 'Саян' (к-14043) и 'Вятский' (к-14960), по массе 1000 зерен – 'Корифей' (к-15113) и 'Тайдон' (к-15183), по натуре зерна – 'Корифей' и 'Гоша' (к-15120).

Установлено, что для пленчатых образцов имеет место существенная положительная связь между величинами содержания масла в зерне, с одной стороны, и показателями их пластичности (CV, d) по указанному признаку – с другой. Зафиксированные результаты свидетельствуют о высоком риске получения пленчатого овса с низким уровнем масла в зерне при его селекции на высокую стабильность по рассматриваемому химическому признаку.

Для голозерных образцов овса выявлены сильные существенные отрицательные связи между отдельными показателями адаптивности по содержанию β-глюканов или масла в зерне и таковыми по натуре зерна. Показана принципиальная возможность косвенной оценки адаптивности голозерных образцов овса по химическому признаку зерна (содержание β-глюканов или масла) на основе вычисления их адаптивности по физической характеристике (натура зерна). Для голозерных овсов зафиксированы сильные существенные связи между средними величинами массы 1000 зерен образцов и параметрами их пластичности (отрицательные корреляции) либо показателем их стабильности (положительная корреляция) по данному физическому признаку. Предполагается, что успешная селекция овса на минимальную пластичность и максимальную стабильность сортов по ценному признаку «масса 1000 зерен» будет сопровождаться ростом крупности зерна.

### References / Литература

- Biel W., Bobko K., Maciorowski R. Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain. *Journal of Cereal Science*. 2009;49(3):413-418. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.01.009
- Dospekhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Gerasimov S.A., Polonskiy V.I., Sumina A.V., Surin N.A., Lipshin A.G., Zute S.A. The influence of genotype and cultivation conditions of oats in the contents of biologically active components in grain. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2020;(2):65-71. [in Russian] (Герасимов С.А., Полонский В.И., Сумина А.В., Сурин Н.А., Липшин А.Г., Зюте С.А. Влияние генотипа и условий выращивания овса на содержание биологически активных компонентов в зерне. *Химия растительного сырья*. 2020;(2):65-71). DOI: 10.14258/jcprm.2020025515
- Goncharenko A.A., Makarov A.V., Kuzmich M.A., Ermakov S.A., Semenova T.V., Tochilin V.N. et al. Assessment of ecological variability, stability and plasticity of varieties of winter rye on traits of quality of grain. *Russian Agricultural Sciences*. 2020;(4):3-9. [in Russian] (Гончаренко А.А., Макаров А.В., Кузьмич М.А., Ермаков С.А., Семенова Т.В., Тоцилин В.Н. и др. Оценка экологической устойчивости, стабильности и пластичности сортов озимой ржи по признакам качества зерна. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020;(4):3-9). DOI: 10.31857/S2500262720040018
- Hangildin V.V., Litvinenko N.A. Homeostasis and adaptability of winter wheat cultivars (Gomeostaticnost i adaptivnost sortov ozimoy pshenitsy). *Nauchno-tekhnicheskii byulleten Vsesoyuznogo selektsionno-geneticheskogo instituta = Scientific and Technical Bulletin of the All-Union Institute of Breeding and Genetics*. 1981;1(39):8-14. [in Russian] (Хангильдин В.В., Литвиненко Н.А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы. *Научно-технический бюллетень Всесоюзного селекционно-генетического института*. 1981;1(39):8-14).
- Loskutov I.G., Polonskiy V.I. Content of β-glucans in oat grain as a perspective direction of breeding for health products and fodder (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(4):646-657. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Полонский В.И. Селекция на содержание β-глюканов в зерне овса как перспективное направление для получения продуктов здорового питания, сырья и фуража (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(4):646-657). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.646rus
- Nettevich E.D., Morgounov A.I., Maksimenko M.I. Improving the efficiency of spring wheat selection for stability, yield and quality of grain (Povysheniye effektivnosti otbora yarovoy pshenitsy na stabilnost, urozhaynost i kachestvo zerna). *Vestnik selskokhozyaystvennoy nauki = Bulletin of Agricultural Science*. 1985;(1):66-73. [in Russian] (Неттевич Э.Д., Моргунов А.И., Максименко М.И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность урожайности и качества зерна. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1985;(1):66-73).
- Peterson D.M., Wesenberg D.M., Burrup D.E. β-Glucan content and its relationship to agronomic characteristics in elite oat germplasm. *Crop Science*. 1995;35(6):965-970.
- Polonskiy V.I., Loskutov I.G., Sumina A.V. Evaluation of oat genotypes for the content of β-glucans in grain on the

- basis of its physical characteristics. *Agricultural Biology*. 2020;55(1):45-52. [in Russian] (Полонский В.И., Лоскутов И.Г., Сумина А.В. Оценка генотипов овса на содержание  $\beta$ -глюканов в зерне на основании его физических характеристик. *Сельскохозяйственная биология*. 2020;55(1):45-52). DOI: 10.15389/agrobiology.2020.1.45eng
- Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., Sumina A.V., Zute S. The study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of various geographical origin for grain quality and productivity. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):53-60. [in Russian] (Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(6):683-690). DOI: 10.18699/VJ19.541
- Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., Sumina A.V., Zute S.A. Evaluation of barley genotypes for the content of  $\beta$ -glucans in grain and other valuable features in Eastern Siberia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):48-58. [in Russian] (Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С.А. Оценка образцов ячменя на содержание  $\beta$ -глюканов в зерне и другие ценные признаки в условиях Восточной Сибири. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(1): 48-58). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58
- Redaelli R., Del Frate V., Bellato S., Terracciano G., Ciccoritti R., Germeier C.U. et al. Genetic and environmental variability in total and soluble  $\beta$ -glucan in European oat genotypes. *Journal of Cereal Science*. 2013;57(2):193-199. DOI: 10.1016/j.jcs.2012.09.003
- Rossielle A.A., Hemblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*. 1981;21(6):943-946. DOI: 10.2135/cropsci1981.001183X002100060033x
- Saastamoinen M., Plaami S., Kumpulainen J. Genetic and environmental variation in  $\beta$ -glucan content of oats cultivated or tested in Finland. *Journal of Cereal Science*. 1992;16(3):279-290. DOI: 10.1016/S0733-5210(09)80090-8
- Shewry P.R., Piironen V., Lampi A.M., Nyström L., Li L., Rakszegi M. et al. Phytochemical and fiber components in oat varieties in the health grain diversity screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008;56(21):9777-9784. DOI: 10.1021/jf801880d
- Shvachko N.A., Loskutov I.G., Semilet T.V., Popov V.S., Kovalova O.N., Konarev A.V. Bioactive components in oat and barley grain as a promising breeding trend for functional food production. *Molecules*. 2021;26(8):2260. DOI: 10.3390/molecules26082260
- Šterna V., Zute S., Jansone I., Kantane I. Chemical composition of covered and naked spring barley varieties and their potential for food production. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2017;67(2):151-158. DOI: 10.1515/pjfn-2016-0019
- Šterna V., Zute S., Vicupe Z. Variation in  $\beta$ -glucan, protein and fat concentration of oats created in Latvia. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Section B*. 2018;72(2):71-74. DOI: 10.2478/prolas-2018-0011
- Tulyakova M.V., Batalova G.A., Loskutov I.G., Permyakova S.V., Krotova N.V. Assessment of adaptability parameters in hulled oat germplasm accessions in terms of their yield in the environments of Kirov Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):72-79. [in Russian] (Тулякова М.В., Баталова Г.А., Лоскутов И.Г., Пермякова С.В., Кротова Н.В. Оценка адаптивных параметров коллекционных образцов овса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(1):72-79). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79
- Volkova L.V., Gireva V.M. Estimation of spring soft wheat varieties by yield and adaptive properties. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;4(59):19-23. [in Russian] (Волкова Л. В., Гирева Л.В. Оценка сортов яровой мягкой пшеницы по урожайности и адаптивным свойствам. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2017;4(59):19-23).
- Yusova O.A., Nikolaev P.N., Safonova I.V., Aniskov N.I. Analysis of oats varieties of Omsk selection for the collection of protein per unit area. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020a;6(197):38-48. [in Russian] (Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Анализ сортов овса омской селекции по сбору белка с единицы площади. *Аграрный вестник Урала*. 2020a;6(197):38-48). DOI: 10.32417/1997-4868-2020-197-6-38-48
- Yusova O.A., Nikolaev P.N., Safonova I.V., Aniskov N.I. Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020b;181(2):42-49. [in Russian] (Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020b;181(2):42-49). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49
- Yusova O.A., Nikolaev P.N., Vasiukevich V.S., Aniskov N.I., Safonova I.V. Spring grain quality of Omsk oat varieties in the extreme environmental conditions. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2020c;2(55):84-96. [in Russian] (Юсова О.А., Николаев П.Н., Васиukevich В.С., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Уровень качества зерна Омских сортов овса ярового в контрастных экологических условиях. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2020c;2(55):84-96). DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-84-96

#### Информация об авторах

**Вадим Игоревич Полонский**, доктор биологических наук, профессор, Красноярский государственный аграрный университет, 660049 Россия, Красноярск, пр. Мира, 90, профессор, Сибирский федеральный университет, 660041 Россия, Красноярск, пр. Свободный, 79, vadim.polonskiy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7183-0912>

**Сергей Александрович Герасимов**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, Федеральный исследовательский центр Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, обособленное подразделение Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, 660036 Россия, Красноярск, ул. Академгородок, 50, g-s-a2009@yandex, <https://orcid.org/0000-0003-1273-3212>

**Алена Владимировна Сумина**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, 655017 Россия, Абакан, ул. Ленина, 90, доцент, Красноярский государственный аграрный университет, 660049 Россия, Красноярск, пр. Мира, 90, alenasumina@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0466-6833>

**Санита Алдоновна Зуте**, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Стендский научный центр, Институт агроресурсов и экономики, Дизстенде, Либэгская волость, Талсинский край LV 3258, Латвия, sanita.zute@arei.lv, <https://orcid.org/0000-0001-5523-1111>

#### *Information about the authors*

**Vadim I. Polonskiy**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Krasnoyarsk State Agrarian University, 90 Mira Ave., Krasnoyarsk 660049, Russia, Professor, Siberian Federal University, 79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk 660041, Russia, vadim.polonskiy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7183-0912>

**Sergei A. Gerasimov**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Head of a Laboratory, Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, affiliated to Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 50 Akademgorodok St., Krasnoyarsk 660036, Russia, g-s-a2009@yandex, <https://orcid.org/0000-0003-1273-3212>

**Alena V. Sumina**, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, N.F. Katanov Khakass State University, 90 Lenina Ave., Abakan 655017, Russia, Associate Professor, Krasnoyarsk State Agrarian University, 90 Mira Ave., Krasnoyarsk 660049, Russia, alenasumina@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0466-6833>

**Sanita A. Zute**, Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Stende Research Centre, Institute of Agricultural Resources and Economics, Dizstende, Libagu Parish, Talsu District LV 3258 Latvia, sanita.zute@arei.lv, <https://orcid.org/0000-0001-5523-1111>

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 03.09.2021; одобрена после рецензирования 26.10.2021; принята к публикации 28.02.2022.

The article was submitted on 03.09.2021; approved after reviewing on 09.02.2022; accepted for publication on 28.02.2022.